



Practitioner's Docket No. U 012967-6

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: Andy DEBECKER, et al.

Group No.: 3728

Serial No.: 09/675,496

Filed: September 29, 2000

Examiner: --

For: Fibre-reinforced pressure vessel and method of manufacturing a fibre-reinforced pressure vessel

Assistant Commissioner for Patents

Washington, D.C. 20231

TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPY WITH DECLARATION IN  
REGARD OF ENGLISH TRANSLATION

Attached please find the certified copy of the foreign application from which priority is claimed for this case:

Country: NETHERLANDS

Application

Number: 1014290

Filing Date: February 4, 2000

WARNING: "When a document that is required by statute to be certified must be filed, a copy, including a photocopy or facsimile transmission of the certification is not acceptable." 37 C.F.R. 1.4(f) (emphasis added).

RECEIVED  
JAN 16 2001  
TC 3700 MAIL ROOM

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. 1.8a)

I hereby certify that this correspondence is, on the date shown below, being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231.

Signature

Date: January 4, 2001

Julian H. Cohen

(type or print name of person certifying)

Reg. No. 20302

Tel. No.: (212) 708-1887

Customer No.:

  
SIGNATURE OF PRACTITIONER

Julian H. Cohen

(type or print name of practitioner)

P.O. Address

c/o Ladas & Parry  
26 West 61<sup>st</sup> Street  
New York, N.Y. 10023

*NOTE: "The claim to priority need be in no special form and may be made by the attorney or agent, if the foreign application is referred to in the oath or declaration, as required by § 1.63." 37 C.F.R. 1.55(a).*



#4

KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

Bureau voor de Industriële Eigendom



Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 4 februari 2000 onder nummer 1014290,  
ten name van:

**ADVANCED LIGHTWEIGHT CONSTRUCTIONS GROUP B.V.**

te Delft

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Vezelversterkt drukvat en werkwijze voor het maken van een vezelversterkt drukvat",  
en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

Rijswijk, 26 oktober 2000

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,  
voor deze,

drs. N.A. Oudhof

UITTREKSEL

De uitvinding heeft betrekking op een vezelversterkt drukvat (1, 6) omvattende een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam (2, 7, 13, 19) waaromheen vezelfilamenten (3, 10, 11, 18) gewikkeld zijn, waarbij de vezelfilamenten zodanig gewikkeld zijn dat ten minste een aantal vezelfilamenten vrij kan bewegen ten opzichte van elkaar en bij inwendige druk in het drukvat de vezelfilamenten precies in hun lengterichting worden belast.

De uitvinding heeft ook betrekking op een werkwijze voor het maken van een vezelversterkt drukvat waarbij geen matrixmateriaal (bijvoorbeeld hars) wordt gebruikt zodat ten minste een aantal vezelfilamenten zou worden opgenomen in een matrix voor dat deel van het drukvat waarin de vezelfilamenten vrij kunnen bewegen ten opzichte van elkaar.

Fig. 2.

B. v.d. I.E.

- 7 FEB. 2000

7 III

VEZELVERSTERKT DRUKVAT EN  
WERKWIJZE VOOR HET MAKEN VAN EEN VEZELVERSTERKT DRUKVAT

De uitvinding heeft betrekking op een vezelversterkt drukvat omvattende een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam waaromheen vezelfilamenten gewikkeld zijn. De uitvinding heeft tevens betrekking op een werkwijze voor het vervaardigen van een vezelversterkt drukvat omvattende een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam waaromheen vezelfilamenten gewikkeld zijn.

De uit de praktijk bekende vezelversterkte drukvaten omvatten een gas- of vloeistofdicht lichaam waaromheen vezelfilamenten gewikkeld zijn. Tijdens het vervaardigen van vezelversterkte drukvaten worden vezelfilamenten in bepaalde patronen aangebracht, zodat de vezelfilamenten bij inwendige druk in het drukvat trekspanningen opnemen. Vóór, tijdens of na het omwikkelen wordt een bindmiddel of hars (een zogeheten matrixmateriaal) aangebracht op het te omwikkelen lichaam of op de vezelfilamenten. Na het omwikkelen wordt het matrixmateriaal uitgehard zodat de vezelfilamenten in een matrix (het bindmiddel of de hars) worden opgenomen. In vezelversterkte drukvaten dient de matrix om bij inwendige druk optredende schuifspanningen over te dragen tussen vezelfilamenten onderling of aan het gas- of vloeistofdichte lichaam. Soms worden ook extra wikkelingen aangebracht om (delen van) het gas- of vloeistofdichte lichaam heen om mechanische spanningen ten gevolge van onder andere schuifspanningen op te nemen.

De uit de praktijk bekende werkwijzen voor het vervaardigen van vezelversterkte drukvaten omvatten een solidificatie- of uithardingsstap om de gewikkelde vezelfilamenten te kunnen opnemen in een matrix. Voor uitharding is tijd nodig, gewoonlijk 6 tot 8 uur.

Een nadeel van de bekende drukvaten en de werkwijzen voor hun vervaardiging is dat een solidificatie- of uithardingsstap nodig is die gewoonlijk 6 tot 8 uur duurt. Een ander nadeel is dat voor het opnemen van mechanische spanningen ten gevolge van onder andere schuifspanningen soms extra wikkelingen nodig zijn.

Het is een doel van de uitvinding om te voorzien in een verbeterd drukvat. Het is een ander doel van de uitvinding om te voorzien in een verlaging van productiekosten van vezelversterkte drukvaten. Het is nog een ander doel van de uitvinding om te voorzien in een verbeterde werkwijze voor het vervaardigen van vezelversterkte drukvaten.

Volgens een eerste aspect van de uitvinding worden een of meer doelen bereikt door een vezelversterkt drukvat omvattende een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam waaromheen vezelfilamenten gewikkeld zijn, waarbij ten minste een aantal vezelfilamenten vrij kan bewe-

84

gen ten opzichte van elkaar en de vezelfilamenten zodanig gewikkeld zijn dat bij inwendige druk in het drukvat de vezelfilamenten precies in hun lengterichting worden belast.

Doordat de vezelfilamenten zodanig gewikkeld zijn dat zij, bij inwendige druk in het drukvat, alleen in lengterichting worden belast, zullen zij tijdens gebruik op hun plaats blijven en is een matrix niet nodig.

Voorts wordt bereikt dat alleen net zoveel vezelmateriaal hoeft te worden gebruikt als nodig is voor het precies opnemen van de mechanische spanningen in het drukvat. Er zijn geen extra vezelfilamenten nodig, hetgeen leidt tot gewichtsvermindering en tot lagere kosten ten opzichte van de bekende drukvaten.

Doordat ten minste een aantal vezelfilamenten vrij kan bewegen ten opzichte van elkaar, en de vezelfilamenten zodanig gewikkeld zijn dat bij inwendige druk in het drukvat de vezelfilamenten precies in hun lengterichting worden belast, zullen de vezelfilamenten in dat deel van het drukvat zich ten opzichte van elkaar verplaatsen wanneer het drukvat bijvoorbeeld beschadigd wordt.

Bij voorkeur kunnen in het gehele drukvat de vezelfilamenten vrij bewegen ten opzichte van elkaar.

Dit heeft het voordeel dat er helemaal geen matrixmateriaal (bijvoorbeeld hars) gebruikt hoeft te worden. Dat maakt een uithardingsstap overbodig en het leidt tot lagere kosten ten opzichte van de bekende drukvaten.

Bij voorkeur heeft het drukvat volgens de uitvinding een isotensoïde vorm, dat wil zeggen een vorm waarin bij inwendige druk de mechanische spanningen gelijkmatig over de vezelfilamenten verdeeld worden. Om het drukvat de gewenste isotensoïde vorm te geven kan gebruik worden gemaakt van een middel voor het axiaal versterken van het drukvat.

Doordat een isotensoïde vorm wordt gebruikt is slechts een minimale hoeveelheid aan vezelfilamenten nodig om de mechanische spanningen in het drukvat op te nemen.

Bij een andere voorkeur heeft het drukvat volgens de uitvinding een cilindrische vorm die aan weerszijden in lengterichting wordt voorzien van isotensoïde eindstukken.

Door het drukvat een cilindrische vorm te geven is het geschikt voor gebruik als gasfles.

Bij voorkeur wordt het drukvat volgens de uitvinding voorzien van een beschermende laag, een zogeheten coating.

Een coating die synthetisch rubber omvat is bijzonder geschikt als bescherming bij brand en tegen kleine slag- of stootbelastingen.

Bij voorkeur is in een drukvat volgens de uitvinding het rigide lichaam vervaardigd van hoge-dichtheidspolyetheen (HDPE) en zijn de vezelfilamenten koolstofvezels.

Deze combinatie van materialen is gunstig vanuit het oogpunt van productiekosten en gewicht en sterkte van het drukvat.

Bij voorkeur is in een drukvat volgens de uitvinding het rigide lichaam vervaardigd van hoge-dichtheidspolyetheen (HDPE) en zijn de vezelfilamenten glasvezels.

5 Ook deze combinatie van materialen is gunstig vanuit het oogpunt van productiekosten en gewicht en sterkte van het drukvat.

Een drukvat volgens de uitvinding kan in verschillende uitvoeringen worden gemaakt en het is daardoor geschikt voor verschillende maximale inwendige drukken.

10 Volgens een tweede aspect van de uitvinding worden een of meer doelen bereikt door een werkwijze voor het vervaardigen van een vezelversterkt drukvat omvattende een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam waaromheen vezelfilamenten gewikkeld zijn, waarbij de werkwijze omvat de stappen van:

- 15 a) het verschaffen van een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam, vezelfilamenten en wikkellapparaat;
- b) het omwikkelen van het rigide lichaam zodanig dat ten minste een aantal vezelfilamenten vrij kan bewegen ten opzichte van elkaar en de vezelfilamenten zodanig gewikkeld zijn dat bij inwendige druk in het drukvat de vezelfilamenten precies in hun lengterichting worden belast;

20 waarbij geen matrixmateriaal (bijvoorbeeld hars) wordt aangebracht zodanig dat de vezelfilamenten zouden worden opgenomen in een matrix voor dat deel van het drukvat waarin de vezelfilamenten vrij kunnen bewegen ten opzichte van elkaar.

25 Hierdoor wordt bereikt dat er niet meer aan vezelmateriaal wordt gebruikt dan nodig is voor het precies opnemen van de mechanische spanningen in het drukvat. Dit leidt tot verlaging van de kosten van vervaardiging van het drukvat.

30 Bij voorkeur wordt in de werkwijze volgens de uitvinding geen matrixmateriaal aangebracht. Door het niet aanbrengen van een matrixmateriaal in het drukvat is een uithardingsstap overbodig. Hierdoor bereikt men een verkorting van de productietijd met de tijd die anders nodig is voor solidificatie of uitharding, gewoonlijk 6 tot 8 uur.

De uitvinding zal worden toegelicht aan de hand van twee uitvoeringsvoorbeelden van het drukvat en van één uitvoeringsvoorbeeld van de werkwijze voor het maken van het drukvat onder verwijzing naar bijgaande tekening.

5           Figuur 1 toont een eerste uitvoeringsvoorbeeld van het drukvat volgens de uitvinding met een isotensoïde vorm;

          Figuur 2 toont een tweede uitvoeringsvoorbeeld van het drukvat volgens de uitvinding met een cilindrische vorm;

          Figuur 3 toont een doorsnede in axiale richting van een uiteinde van het drukvat volgens Figuur 2;

          Figuren 4A en 4B tonen in doorsnede een voorbeeld van het rigide lichaam van een drukvat met daaraan grenzende vezelfilamenten volgens de uitvinding; en

          Figuur 5 toont schematisch de mechanische belasting van een vezelfilament in de lengterichting volgens de uitvinding.

15           Onder verwijzing naar de tekening zullen nu de twee gegeven uitvoeringsvoorbeelden van het drukvat volgens de uitvinding worden beschreven.

          In Figuur 1 ziet men een eerste uitvoeringsvoorbeeld van het drukvat volgens de uitvinding. Het drukvat (1) omvat een rigide gas-of vloeistofdicht lichaam (2) met een isotensoïde vorm. Om het rigide lichaam (2) heen bevinden zich gewikkelde vezelfilamenten (3). Verder ziet men een hulpstuk (4). In dit voorbeeld is het hulpstuk (4) een middel voor het axiaal versterken van het drukvat (1). Het hulpstuk (4) is voorzien van middelen (5), in dit voorbeeld schroefgaten, waarmee een appendage (niet getoond) zoals een afsluiter of een drukventiel op het drukvat (1) kan worden aangebracht.

25           In Figuur 2 ziet men een tweede uitvoeringsvoorbeeld van het drukvat volgens de uitvinding. Het drukvat (6) omvat een rigide gas-of vloeistofdicht lichaam (7) met een cilindrische vorm. Het cilindervormige lichaam (7) heeft een eindstuk (8) met een isotensoïde vorm. Men ziet het cilindervormige rigide lichaam (7) nog gemonteerd op een rotatie-as (9) die wordt gebruikt bij het wikkelen van vezelfilamenten om het rigide lichaam (7) heen. Om het rigide  
30           lichaam (7) heen bevinden enkele vezelfilamenten (10) gewikkeld in de omtreksrichting (zogenheten 'hoop windings') van het rigide lichaam (7) en enkele vezelfilamenten (11) gewikkeld in de lengterichting (zogenheten 'helical or polar windings') van het rigide lichaam (7).

          Het rigide lichaam kan bestaan uit een dunne laag van metaal, een thermoplastisch of een thermohardend materiaal, mits het materiaal voldoet aan de veiligheidsspecificaties die  
35           gelden voor de in het drukvat te bevatten stof.



Het vezelmateriaal is bij voorkeur koolstofvezel, maar kan ook een ander op trek te belasten vezelsoort zijn zoals E-, R- of S-glasvezels, p-aramide vezels, koolstofvezels of vezels van polymeren zoals polyetheen, polyester of polyamide.

In Figuur 3 ziet men een doorsnede in axiale richting van een uiteinde van het drukvat (6) volgens Figuur 2. Men ziet een uiteinde (12) van het cilindervormige rigide gas-of vloeistofdichte lichaam (13) en een hulpstuk (14) dat aan het rigide lichaam (13) grenst. In dit voorbeeld geven het hulpstuk (14) en het rigide lichaam (13) samen het uiteinde (12) een isotensoïde vorm. In dit voorbeeld zijn er ook openingen (15) en (16) in de axiale richting van het drukvat (6). In dit uitvoeringsvoorbeeld ziet men ook hoe het rigide lichaam (13) en het hulpstuk (14) samen omwikkeld zijn met een laag (17) (schematisch afgebeeld) van vezelfilamenten.

In Figuren 4A en 4B ziet men in doorsnede een voorbeeld van de ligging van vezelfilamenten (18) tegen het rigide lichaam (19) aan bij een drukvat volgens de uitvinding. In dit voorbeeld liggen de vezelfilamenten (18) in een dichtste-bolstapeling. In Figuur 4B ziet men ook een coating (20) die op de vezelfilamenten is aangebracht.

In Figuur 5 ziet men de belasting bij inwendige druk ( $f$ ) in het drukvat van een booglengte ( $AD$ ) van een vezelfilament en de reactiekracht ( $F$ ) van de booglengte ( $AD$ ) van het vezelfilament die daardoor ontstaat.  $R$  is de straal van het rigide lichaam en  $d\alpha$  is de booghoek. Het vezelfilament oefent uiteraard ook een normale reactiekracht uit op het rigide lichaam.

Nu wordt een voorbeeld van de werkwijze volgens de uitvinding voor het vervaardigen van een vezelversterkt drukvat omvattende een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam waaromheen vezelfilamenten gewikkeld zijn, beschreven.

Men bepaalt eerst de functie van het drukvat en kiest de daarvoor te gebruiken materialen. Vervolgens bepaalt men een ontwerp, dat wil zeggen de vorm van de inrichting inclusief parameters als de inhoud en afmetingen van het vat, de maximaal toegestane inwendige druk, veiligheidsfactoren en de afmetingen van de uitstroomopeningen in het drukvat. Ook wordt een geschikt productieproces gekozen. Volgens de uitvinding is dat het omwikkelen met vezels ('filament winding'). Voor dit proces bepaalt men een voor de vorm van het drukvat geschikt wikkelpatroon waarbij in het wikkelpatroon de vezelfilamenten zodanig gewikkeld dienen te zijn dat ten minste een aantal vezelfilamenten vrij kan bewegen ten opzichte van elkaar en bij inwendige druk in het drukvat de vezelfilamenten precies in hun lengterichting worden belast. Daarbij dient het rigide lichaam niet bij te dragen aan het opnemen van mechanische spanningen ten gevolge van de inwendige druk. Het rigide lichaam kan volgens elke bekende werkwijze worden vervaardigd, bijvoorbeeld een werkwijze waarbij gebruik gemaakt

wordt van een mal en 'blow moulding' of spuitgieten of rotatiegieten. Vervolgens wordt het rigide lichaam gemonteerd op een wikkelbank ('filament winding machine'). Na het instellen van de wikkelbank wordt het begin van een te wikkelen filament vastgezet aan het rigide lichaam, het rigide lichaam omgewikkeld en het uiteinde van het gewikkelde filament vastge-  
 5 zet. Soms wordt het wikkelpatroon in etappes aangebracht. In het geval van een cilindervormig rigide lichaam worden bijvoorbeeld vezelfilamenten in de omtreksrichting (zogenoeten 'hoop windings') en vezelfilamenten in de lengterichting (zogenoeten 'helical or polar windings') apart aangebracht. Bij het aanbrengen van vezelfilamenten in de lengterich-  
 10 ting (zogenoeten 'helical or polar windings') wordt er eerst een hulpstuk tegen het rigide li-  
 chaam aan geplaatst en wordt het hulpstuk mee omwikkeld met vezelfilamenten. Nadat het rigide lichaam volledig omwikkeld is wordt het drukvat optioneel voorzien van een coating, bij voorkeur van synthetisch rubber. Naar keuze wordt op het drukvat een appendage aange-  
 bracht.

De vezels worden aangebracht door middel van wikkelen, het zogeheten filament win-  
 15 ding. Doordat de vezelfilamenten zodanig gewikkeld zijn dat zij, bij inwendige druk in het drukvat, alleen in lengterichting worden belast, zullen zij tijdens gebruik op hun plaats blijven en is een matrix niet nodig. Bij voorkeur wordt in het geheel geen matrixmateriaal (bijvoorbeeld hars) aangebracht.

De vezels worden niet geïmpregneerd of verlijmd of bevestigd aan het rigide lichaam,  
 20 uiteraard behalve het begin van het allereerste om te wikkelen vezelfilament. Bevestiging van het vezelfilament kan ook plaatsvinden door het leggen van een knoop in het vezelfilament. Onder impregneren wordt gewoonlijk verstaan het geheel of gedeeltelijk doordringen van enig matrixmateriaal in of tussen de vezelfilamenten. In het drukvat volgens de uitvinding dringt er dus geen matrixmateriaal door in of tussen de vezelfilamenten omdat er geen matrixmateriaal  
 25 gebruikt wordt. Matrixmateriaal is gewoonlijk een hars, kunsthars of elastomeer. Verder kan het rigide lichaam vrij schuiven langs de vezelfilamenten.

In de werkwijze volgens de uitvinding komt in het geheel geen solidificatie- of uithar-  
 dingsstap aan te pas, dus niet vóór, tijdens of ná het wikkelen.

Naar keuze kan een al of niet rigide beschermingslaag, een zogeheten coating, bovenop  
 30 de vezelfilamenten worden aangebracht. Deze coating is brandwerend en niet constructief dragend en zij dient alleen om de vezelfilamenten te beschermen tegen invloeden van buitenaf zoals snijdende of schurende bewegingen, chemicaliën en tegen de invloed van vocht of licht. Het aanbrengen van deze coating is niet essentieel om de primaire functie van een drukvat -  
 namelijk, het veilig bewaren van een stof onder druk- uit te voeren.

De coating, indien aangebracht, kan gevormd zijn uit een elastomeer of zij kan bestaan uit een rigide schaal van metaal of van een thermoplastisch of thermohardend materiaal. Bij voorkeur is de coating vervaardigd van een synthetisch rubber.

5 Een drukvat volgens de uitvinding kan met name worden gebruikt voor het onder druk  
bewaren of vervoeren van stoffen zoals propaan, butaan, CNG (compressed natural gas), lucht,  
water en cryogene stoffen zoals vloeibare zuurstof of vloeibare stikstof. Afhankelijk van de te  
bewaren of te vervoeren stof kan een drukvat volgens de uitvinding worden vervaardigd voor  
10 een werkdruk van 0-5 bar (bijvoorbeeld voor heet water in een expansievat), van 0-10 bar  
(bijvoorbeeld voor vloeibare zuurstof of vloeibare stikstof of voor propaangas of butaangas of  
een mengsel daarvan in gasflessen bestemd voor huishoudelijk gebruik en bij kamertempera-  
tuur), 0-35 bar (bijvoorbeeld voor propaangas of butaangas bij verhoogde temperatuur), 0-100  
bar (bijvoorbeeld voor LPG in brandstoftanks bestemd voor gebruik in motorvoertuigen),  
0-300 bar (bijvoorbeeld voor CNG of perslucht), en 0-600 bar voor koudgassystemen voor toe-  
15 passingen in de ruimtevaart.

De hierboven beschreven uitvindingsgedachte heeft de impact van een doorbraak in de  
wikkeltechnologie, in het bijzonder door het wegnemen van het vooroordeel dat voor vezel-  
versterkte drukvaten het gebruik van een matrixmateriaal zoals hars essentieel is. Derhalve  
wordt de uitvindingsgedachte geacht een grote reikwijdte te hebben en niet te zijn beperkt tot  
20 alleen de hierboven beschreven uitvoeringsvormen.

CONCLUSIES

1. Vezelversterkt drukvat (1, 6) omvattende een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam (2, 7, 13, 19) waaromheen vezelfilamenten (3, 10, 11, 18) gewikkeld zijn, waarbij ten minste een aantal vezelfilamenten (3, 10, 11, 18) vrij kan bewegen ten opzichte van elkaar en de vezelfilamenten (3, 10, 11, 18) zodanig gewikkeld zijn dat bij inwendige druk in het drukvat de vezelfilamenten (3, 10, 11, 18) precies in hun lengterichting worden belast.
2. Vezelversterkt drukvat (1, 6) volgens conclusie 1, waarbij alle gewikkelde vezelfilamenten (3, 10, 11, 18) vrij kunnen bewegen ten opzichte van elkaar.
3. Vezelversterkt drukvat volgens conclusie 1 of 2, waarbij het drukvat (1) een isotensoïde vorm heeft.
4. Vezelversterkt drukvat volgens conclusie 1 of 2, waarbij het drukvat (6) een cilindrische vorm heeft.
5. Vezelversterkt drukvat volgens een van de voorgaande conclusies waarbij het drukvat (1, 6) voorzien is van een coating (20).
6. Vezelversterkt drukvat volgens conclusie 5 waarbij de coating (20) synthetisch rubber omvat.
7. Vezelversterkt drukvat volgens een van de voorgaande conclusies waarbij het rigide lichaam (2, 7, 13, 19) van hoge-dichtheidspolyetheen (HDPE) vervaardigd is en de vezelfilamenten (3, 10, 11, 18) koolstofvezels zijn.
8. Vezelversterkt drukvat volgens een van de voorgaande conclusies waarbij het rigide lichaam (2, 7, 13, 19) van hoge-dichtheidspolyetheen (HDPE) vervaardigd is en de vezelfilamenten (3, 10, 11, 18) glasvezels zijn.
9. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusies 1-8 waarbij het drukvat (1, 6) bestand is tegen een werkdruk in het traject van 0-5 bar.

10. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusies 1-8 waarbij het drukvat (1, 6) bestand is tegen een werkdruk in het traject van 0-10 bar.

11. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusies 1-8 waarbij het drukvat (1, 6) bestand is tegen een werkdruk in het traject van 0-35 bar.

12. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusies 1-8 waarbij het drukvat (1, 6) bestand is tegen een werkdruk in het traject van 0-100 bar.

13. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusies 1-8 waarbij het drukvat (1, 6) bestand is tegen een werkdruk in het traject van 0-300 bar.

14. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusies 1-8 waarbij het drukvat (1, 6) bestand is tegen een werkdruk in het traject van 0-600 bar.

15. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusies 9-11 geschikt als gasfles voor propaan of butaan of een mengsel daarvan voor huishoudelijk gebruik.

16. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusie 12 of 13 geschikt als tank voor brandstof, in het bijzonder LPG, bestemd voor gebruik in motorvoertuigen.

17. Vezelversterkt drukvat volgens een van conclusie 13 of 14 geschikt als tank voor CNG of perslucht.

18. Vezelversterkt drukvat volgens conclusie 14 geschikt als koudgassysteem voor in de ruimtevaart.

19. Vezelversterkt drukvat volgens een van de voorgaande conclusies waarbij het drukvat (1, 6) voorzien is van een appendage, bijvoorbeeld een afsluiter of een drukventiel.

20. Werkwijze voor het vervaardigen van een vezelversterkt drukvat omvattende een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam waaromheen vezelfilamenten gewikkeld zijn, waarbij de werkwijze omvat de stappen van:

- a) het verschaffen van een rigide gas- of vloeistofdicht lichaam, vezelfilamenten en wikkellapparaat;

- b) het omwikkelen van het rigide lichaam zodanig dat ten minste een aantal vezelfilamenten vrij kan bewegen ten opzichte van elkaar en de vezelfilamenten zodanig gewikkeld zijn dat bij inwendige druk in het drukvat de vezelfilamenten precies in hun lengterichting worden belast;

5

waarbij geen matrixmateriaal (bijvoorbeeld hars) wordt aangebracht zodanig dat de vezelfilamenten worden opgenomen in een matrix voor dat deel van het drukvat waarin de vezelfilamenten vrij kunnen bewegen ten opzichte van elkaar.

10

21. Werkwijze volgens conclusie 20, waarbij geen matrixmateriaal wordt aangebracht.

22. Mal voor gebruik bij het vervaardigen van een vezelversterkt drukvat volgens conclusie 20 of 21.

15

1014290

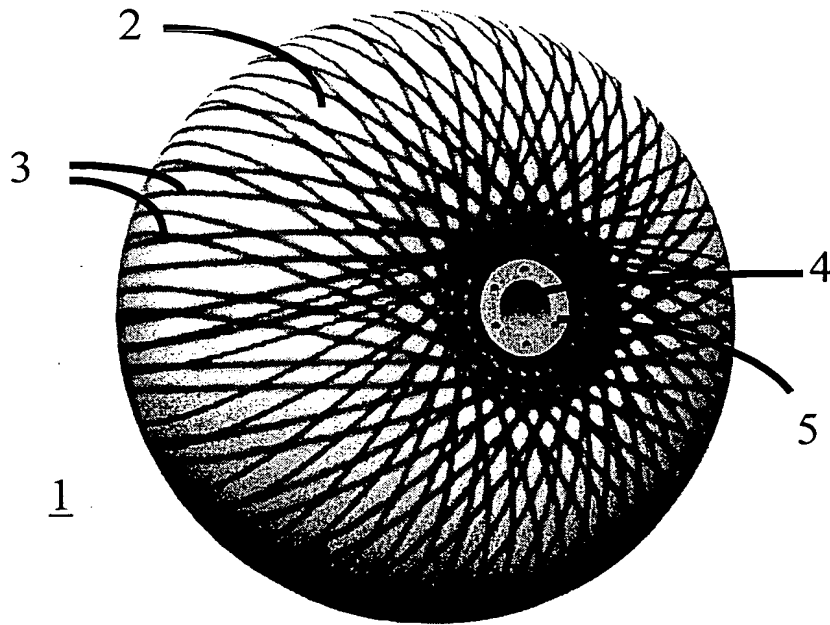


Fig. 1

IC  $\frac{H}{a}$

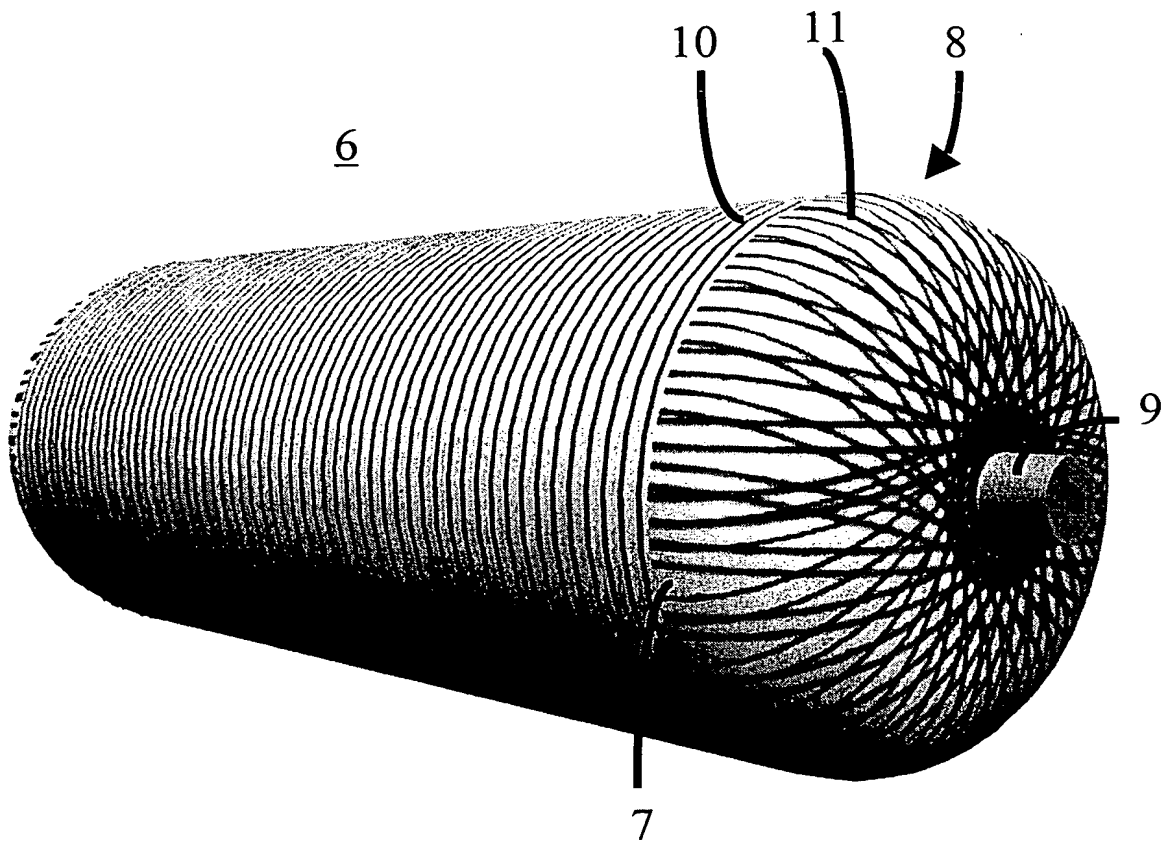
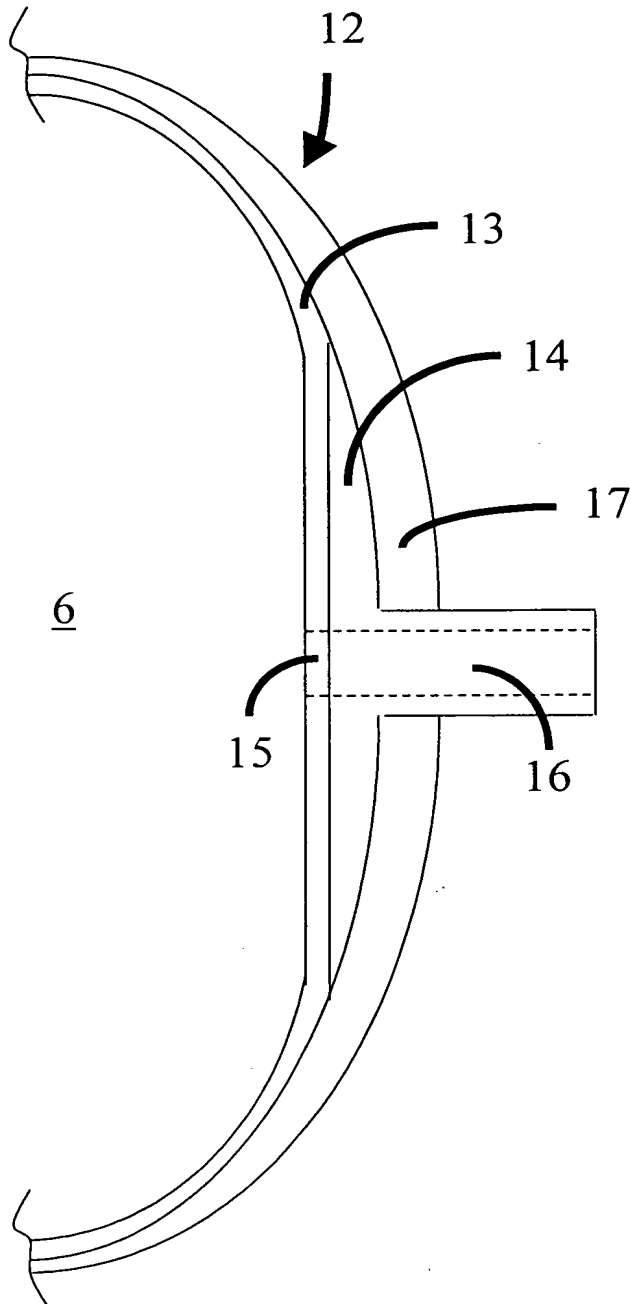


Fig. 2

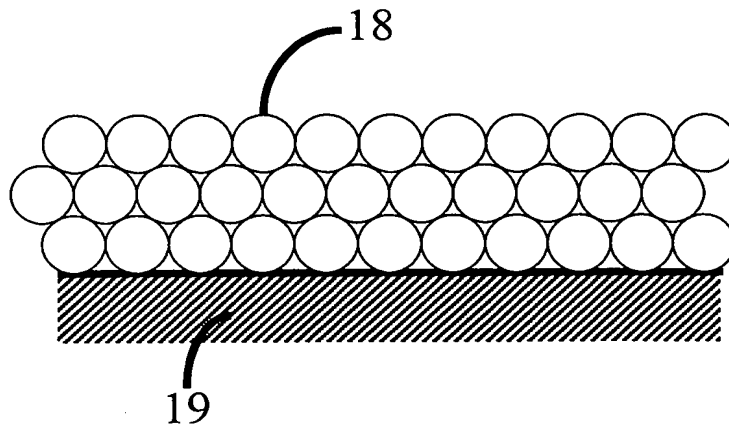


1074230

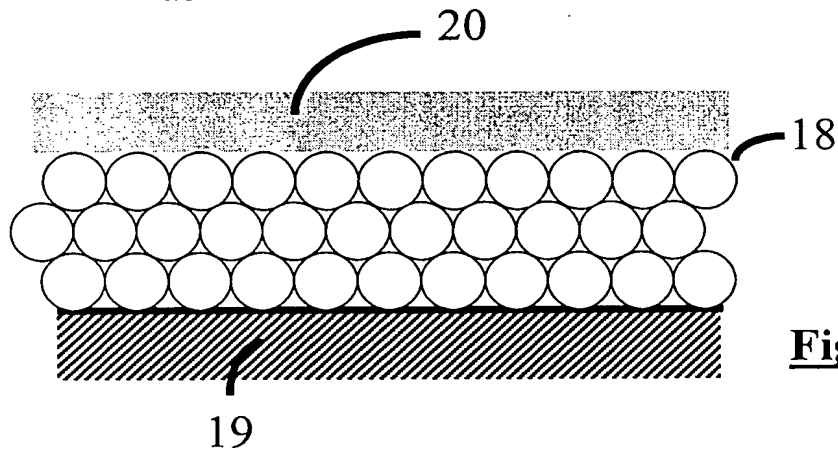


**Fig. 3**

10<sup>II</sup>



**Fig. 4A**



**Fig. 4B**

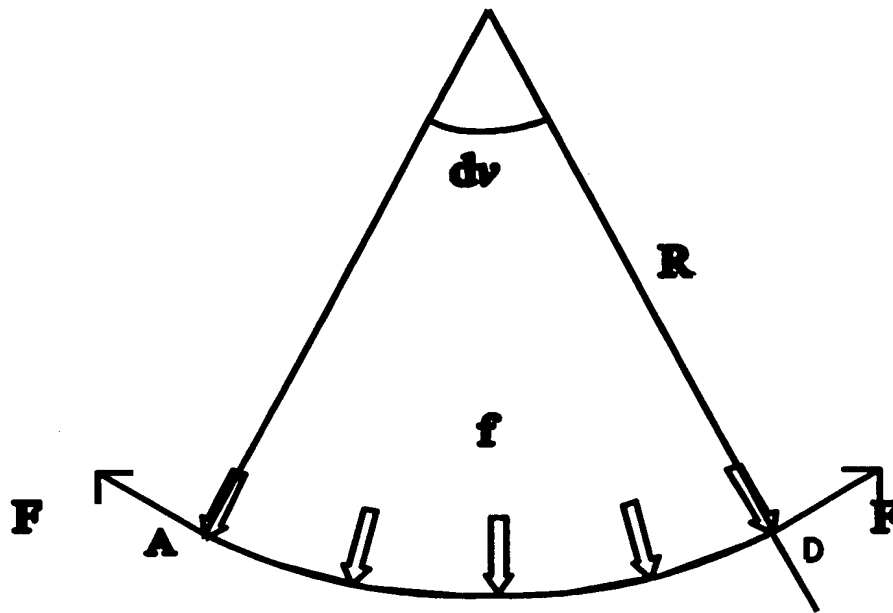


Fig. 5



# SOUTHERN CROSS

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS  
AGENCY AND CONSULTANCY

Sender: Southern Cross, P.O. Box 738, NL-2600 AS Delft, The Netherlands

Date  
30.10.2000  
Our reference  
1999.1201 US

## DECLARATION IN REGARD OF TRANSLATION OF PRIORITY DOCUMENT

Your action of  
-  
Your reference  
-  
Annexes  
2

**Patent application no. NL 1014290**

**Title: Fibre-reinforced pressure vessel and method of  
manufacturing a fibre-reinforced pressure vessel**

**Applicant: Advanced Lightweight Constructions Group B.V.,  
Delft, The Netherlands**

This is to declare that the attached document is a true and accurate translation of the priority application identified above. The priority document provided by the Netherlands Industrial Property Office (Bureau voor de Industriële Eigendom) is also attached to this declaration.

Bipin Taneja  
Dutch patent attorney

ABSTRACT

The invention relates to a fibre-reinforced pressure vessel (1, 6) comprising a rigid gas-  
of fluid-tight body (2, 7, 13, 19) overwound with fibre filaments (3, 10, 11, 18), whereby the  
5 fibre filaments are wound such that at least a number of fibre filaments can freely move in  
respect of one another and when the pressure vessel is under internal pressure the fibre  
filaments are strained exactly in their longitudinal direction.

The invention also relates to a method of manufacturing a fibre-reinforced pressure  
vessel whereby no matrix material (for example, resin) is used so that at least a number of fibre  
10 filaments would be incorporated in a matrix for that section of the pressure vessel in which the  
fibre filaments can freely move in respect of one another.

Fig. 2.



FIBRE-REINFORCED PRESSURE VESSEL AND  
METHOD OF MANUFACTURING A FIBRE-REINFORCED PRESSURE VESSEL

The invention relates to a fibre-reinforced pressure vessel comprising a rigid gas- or fluid-tight body overwound with fibre filaments. The invention also relates to a method of manufacturing a fibre-reinforced pressure vessel comprising a rigid gas- or fluid-tight body overwound with fibre filaments.

Known fibre-reinforced pressure vessels comprise a rigid gas- or fluid-tight body overwound with fibre filaments. During the manufacturing of fibre-reinforced pressure vessels fibre filaments are applied in certain patterns, so that when the pressure vessel is under internal pressure the fibre filaments can absorb tensile stresses. Prior to, during or after winding, a binder or resin ( a so-called matrix material) is applied to the body which is (to be) overwound or to the fibre filaments. After winding, the matrix material is cured so that the fibre filaments are incorporated in a matrix (the binder or resin). In fibre-reinforced pressure vessels the matrix serves to transfer shear forces from one fibre filament to another or to the gas- or fluid-tight body when the pressure vessel is under internal pressure. Sometimes extra windings are applied to (sections of) the gas- or fluid-tight body in order to absorb mechanical loads resulting from inter alia shear stresses.

Known methods of manufacturing fibre-reinforced pressure vessels comprise a solidification or curing step in order to incorporate the wound fibre filaments in a matrix. Curing takes time, usually 6 to 8 hours.

A disadvantage of known pressure vessels and methods of manufacturing the same is the need for a solidification or curing step which usually lasts 6 to 8 hours. Another disadvantage is that for absorbing mechanical loads resulting from inter alia shear stresses extra windings are sometimes necessary.

It is an objective of the invention to provide an improved pressure vessel. It is another objective of the invention to provide a reduction of production costs of fibre-reinforced pressure vessels. It is yet another objective of the invention to provide an improved method of manufacturing fibre-reinforced pressure vessels.

According to a first aspect of the invention one or more objectives are achieved with a fibre-reinforced pressure vessel comprising a rigid gas- or fluid-tight body overwound with fibre filaments, whereby at least a number of fibre filaments can move freely in respect of one another and the fibre filaments are wound such that when the pressure vessel is under internal pressure the fibre filaments are strained exactly in their longitudinal direction.

Since the fibre filaments are wound such that, when the pressure vessel is under internal pressure, they are only strained longitudinally, they will remain in place during use and a matrix will not be required.

5 It is further achieved that only just as much fibre material needs to be used as is necessary for exactly absorbing mechanical stresses in the pressure vessel. No extra fibre filaments are necessary, leading to a reduction in weight and to lower costs as compared to known pressure vessels.

10 Since at least a number of fibre filaments can move freely in respect of one another and the fibre filaments are wound such that when the pressure vessel is under internal pressure the fibre filaments are strained exactly in their longitudinal direction, the fibre filaments in that section of the pressure vessel will be displaced in respect of one another when the pressure vessel for example suffers damage.

Preferably, the fibre filaments can move freely in respect of one another throughout the whole pressure vessel.

15 This is advantageous in that no matrix material (for example, resin) at all needs to be used. This makes a curing step superfluous and it leads to lower costs as compared to known pressure vessels.

20 Preferably, the pressure vessel according to the invention has an isotenoid shape, that is, a shape whereby when the pressure vessel is under internal pressure the mechanical stresses are distributed equally among the fibre filaments. In order to provide the pressure vessel with the desired isotenoid shape a means for axially strengthening the pressure vessel may be used.

Since an isotenoid shape is used, only a minimum number of fibre filaments are needed in order to absorb the mechanical stresses in the pressure vessel.

25 Moreover preferably, the pressure vessel according to the invention has a cylindrical shape which is provided with isotenoid end pieces at both longitudinal ends thereof.

By providing the pressure vessel with a cylindrical shape, it is suitable for use as a gas flask.

30 Preferably, the pressure vessel according to the invention is provided with a protective layer, a so-called coating.

A coating comprising synthetic rubber is particularly suitable as a protective means against fire and against small impact and handling stresses.

Preferably, the rigid body of a pressure vessel according to the invention is made of high-density polyethylene (HDPE) and the fibre filaments are carbon filaments.

This combination of materials is advantageous from the viewpoint of production costs and the weight and strength of the pressure vessel.

Preferably, the rigid body of a pressure vessel according to the invention is made of high-density polyethylene (HDPE) and the fibre filaments are glass fibres.

5 This combination of materials, too, is advantageous from the viewpoint of production costs and the weight and strength of the pressure vessel.

A pressure vessel according to the invention can be manufactured in different embodiments and thus be made suitable for different maximum internal pressures.

10 According to a second aspect of the invention one or more objectives are achieved with a method of manufacturing a fibre-reinforced pressure vessel comprising a rigid gas- or fluid-tight body overwound with fibre filaments, whereby the method of manufacturing comprises the steps of:

- 15 a) providing a rigid gas- or fluid-tight body, fibre filaments and a winding apparatus;
- b) overwinding the rigid body such that at least a number of fibre filaments can move freely in respect of one another and the fibre filaments are wound such that when the pressure vessel is under internal pressure fibre filaments are strained exactly in their longitudinal direction;

20 whereby no matrix material (for example, resin) is provided such that the fibre filaments would be incorporated in a matrix for that section of the pressure vessel in which the fibre filaments can move freely in respect of one another.

25 By this it is achieved that no more fibre material is used than that what is necessary for exactly absorbing the mechanical stresses in the pressure vessel. This leads to a reduction of the costs of manufacturing of the pressure vessel.

30 Preferably, no matrix material at all is provided for in the method according to the invention. By not providing for a matrix material in the pressure vessel a curing step is made superfluous. By this a shortening of the production time is achieved in respect of the time which would otherwise be needed for solidification or curing, which usually is 6 to 8 hours.

35 The invention is illustrated by way of two embodiments of the pressure vessel and one embodiment of the method of manufacturing the pressure vessel with reference to the accompanying drawings.



Figure 1 depicts a first embodiment of the pressure vessel according to the invention having an isotensoid shape;

Figure 2 depicts a second embodiment of the pressure vessel according to the invention  
5 having a cylindrical shape;

Figure 3 is an axial cross-section view of an end of the pressure vessel of Figure 2;

Figures 4A and 4B depict cross-sectional views of an example of the rigid body of a pressure vessel with fibre filaments abutting the rigid body according to the invention; and

Figure 5 depicts schematically the mechanical strain on a fibre filament in its  
10 longitudinal direction according to the invention.

Referring to the drawings the two given embodiments of the pressure vessel according to the invention are now described.

Figure 1 depicts a first embodiment of the pressure vessel according to the invention.  
15 The pressure vessel (1) comprises a rigid gas- or fluid-tight body (2) having an isotensoid shape. There are fibre filaments (3) wound around the rigid body (2). There is also an auxiliary means (4). In this example the auxiliary means (4) is a means for axially strengthening the pressure vessel (1). The auxiliary means (4) is provided with means (5), screw holes in this example, with which an appendage (not shown) such as a closure member or a pressure valve  
20 can be attached to the pressure vessel (1).

Figure 2 depicts a second embodiment of the pressure vessel according to the invention. The pressure vessel (6) comprises a rigid gas- or fluid-tight body (7) having a cylindrical shape. The cylindrical body (7) is provided with an end-piece (8) having an isotensoid shape. The cylindrical rigid body (7) is shown mounted on a rotation-axis (9) which  
25 is used for winding fibre filaments around the rigid body (7). The rigid body (7) has several filaments (10) overwound in the circumferential direction of the rigid body (7) (so-called 'hoop windings') and several filaments (11) overwound in the longitudinal direction of the rigid body (7) (so-called 'helical or polar windings').

The rigid body may comprise a thin layer of metal, a thermoplastic or thermo-setting  
30 material, provided that the material meets the safety specifications applicable for the substance to be contained in the pressure vessel.

The fibre material is preferably carbon fibre, but it can also be any other fibre type resistant to tensile stresses, such as E-type, R-type or S-type glass fibre, p-aramide fibre, carbon fibre or fibres of polymers such as polyethylene, polyester or polyamide.

Figure 3 depicts an axial cross-section view of an end of the pressure vessel (6) according to Figure 2. It shows an end (12) of the cylinder-shaped rigid gas- or fluid-tight body (13) and an auxiliary member (14) abutting the rigid body (13). In this example the auxiliary member (14) and the rigid body together provide the end (12) with an isotenoid shape. In this example there are also openings (15) and (16) in the axial direction of the pressure vessel (6). This embodiment also depicts how the rigid body (13) and the auxiliary member (14) together have been overwound with a layer (17) of fibre filaments (which are shown schematically).

Figures 4A and 4B depict a cross-sectional view of an example of the positions of fibre filaments (18) lying against (abutting) the rigid body (19) of a pressure vessel according to the invention. In this example the fibre filaments (18) are in a cubic closest packing. Figure 4B also shows a coating (20) which has been applied to the fibre filaments.

Figure 5 depicts the stress in respect of a arc (AD) of a fibre filament when the pressure vessel is under internal pressure ( $f$ ) and the resulting reaction force ( $F$ ) of the arc (AD) of the fibre filament.  $R$  represents the radius of the rigid body and  $dv$  represents the arc angle. The fibre filament, of course, also exerts a normal force on the rigid body.

The following is a description of an example of the method -according to the invention- of manufacturing a fibre-reinforced pressure vessel comprising a rigid gas- or fluid-tight body overwound with fibre filaments.

One first determines the function of the pressure vessel and selects the materials to be used for the pressure vessel. Next, one determines a design, that is, the shape of the apparatus including parameters such as the volume and dimensions of the vessel, the maximum allowable internal pressure, safety factors, and the dimensions of the outflow openings in the pressure vessel. A suitable production process is also selected. According to the invention the process is winding with fibres ('filament winding'). For this process one determines a winding pattern appropriate in regard of the shape of the pressure vessel whereby in the winding pattern the fibre filaments are overwound such that at least a number of fibre filaments can move freely in respect of one another and when the pressure vessel is under internal pressure the fibre filaments are strained exactly in their longitudinal direction. The rigid body thereby is not to contribute to the absorption of mechanical stresses resulting from the internal pressure. The rigid body can be manufactured according to any known method, for example a method using a mould and blow moulding or spray moulding or rotation moulding. Subsequently, the rigid body is mounted on a winding apparatus ('filament winding machine'). After setting the controls of the winding apparatus the leading end of a filament to be wound is attached to the rigid body, the rigid body is overwound and

the end of the wound filament is fastened. Sometimes the winding pattern is applied in several stages. In the case of a cylinder-shaped rigid body for example, filaments overwound in the circumferential direction (so-called 'hoop windings') and filaments overwound in the longitudinal direction (so-called 'helical or polar windings') are, for example, applied separately. When applying filaments in the longitudinal direction (so-called 'helical or polar windings') an auxiliary member is first positioned against the rigid body and the auxiliary member is also overwound with fibre filaments. After the rigid body has been completely overwound, the pressure vessel is optionally provided with a coating, preferably of synthetic rubber. The pressure vessel is optionally provided with an appendage.

The fibres are applied by means of winding, so-called filament winding. Since the fibre filaments are overwound such that, when the pressure vessel is under internal pressure, they are strained only in their longitudinal direction, they will stay in position during use and a matrix is not necessary. Preferably, no matrix material (for example, resin) at all is provided.

The fibres are not impregnated or glued or fastened to the rigid body, of course except for the leading end of the very first fibre filament to be overwound. Attachment of the fibre filament can also take place by forming a knot in the fibre filament. Impregnation is usually understood to include partial or complete penetration of any matrix material in or between the fibre filaments. Thus, in the pressure vessel according to the invention no matrix material penetrates in or between the fibre filaments because no matrix material is used. Matrix material is usually a resin, synthetic resin or an elastomer. Furthermore, the rigid body can move freely in respect of the fibre filaments.

In the method according to the invention there is no solidification or curing step at all, thus not prior to, during or after winding.

Optionally, a flexible or a rigid protective layer, a so-called coating, can be provided on top of the fibre filaments. This coating is fire-proof and not constructively supporting, and it serves only to protect the fibre filaments against external influences such as cutting or abrasive actions, chemicals and against the influence of humidity or light. Provision of this coating is not essential for performing the primary function of a pressure vessel, namely safely containing a substance under pressure.

The coating, if provided for, can be formed from an elastomer or it can comprise a rigid shell of metal or of a thermoplastic or thermo-setting material. Preferably, the coating is made of synthetic rubber.

A pressure vessel according to the invention can be used in particular for containing or transporting substances under pressure, such as propane, butane, CNG (compressed natural

gas), air, water and cryogen substances such as liquid nitrogen or liquid oxygen. Depending on the substance to be contained or transported, a pressure vessel according to the invention can be manufactured for a working pressure of 0-5 bar (for example for hot water in an expansion vessel), 0-10 bar (for example for liquid oxygen or liquid nitrogen or for propane gas or butane gas or a mixture thereof in gas flasks intended for use in households and at ambient temperatures), 0-35 bar (for example for propane gas or butane gas at elevated temperatures), 0-100 bar (for example for LPG in fuel tanks intended for use in motor vehicles), 0-300 bar (for example for CNG or compressed air), and 0-600 bar for cryogenic gas systems in space technology applications.

The invention described above has the impact of a breakthrough in the field of winding technology, in particular by overcoming the technical prejudice that the use of a matrix material such as a resin is essential for fibre-reinforced pressure vessels. The invention is therefore considered to have a broad scope and not to be limited to only the above-described embodiments.

CLAIMS

1. Fibre-reinforced pressure vessel (1, 6) comprising a rigid gas- or fluid-tight body (2, 7, 13, 19) overwound with fibre filaments (3, 10, 11, 18), whereby at least a number of fibre  
5 filaments (3, 10, 11, 18) can move freely in respect of one another and the fibre filaments (3, 10, 11, 18) are wound such that when the pressure vessel is under internal pressure, the fibre filaments (3, 10, 11, 18) are strained exactly in their longitudinal direction.
2. Fibre-reinforced pressure vessel (1, 6) according to claim 1, whereby all wound fibre  
10 filaments (3, 10, 11, 18) can move freely in respect of one another.
3. Fibre-reinforced pressure vessel according to claim 1 or claim 2, whereby the pressure vessel (1) has an isotenoid shape.
- 15 4. Fibre-reinforced pressure vessel according to claim 1 or claim 2, whereby the pressure vessel (6) has a cylindrical shape.
5. Fibre-reinforced pressure vessel according to any preceding claim, whereby the pressure vessel (1, 6) is provided with a coating (20).  
20
6. Fibre-reinforced pressure vessel according to claim 5, whereby the coating (20) comprises synthetic rubber.
7. Fibre-reinforced pressure vessel according to any preceding claim, whereby the rigid body  
25 (2, 7, 13, 19) is made of high-density polyethylene (HDPE) and the fibre filaments (3, 10, 11, 18) are carbon fibres.
8. Fibre-reinforced pressure vessel according to any preceding claim, whereby the rigid body  
30 (2, 7, 13, 19) is made of high-density polyethylene (HDPE) and the fibre filaments (3, 10, 11, 18) are glass fibres.
9. Fibre-reinforced pressure vessel according to any of claims 1-8, whereby the pressure vessel (1, 6) can withstand a working pressure in the range of 0-5 bar.

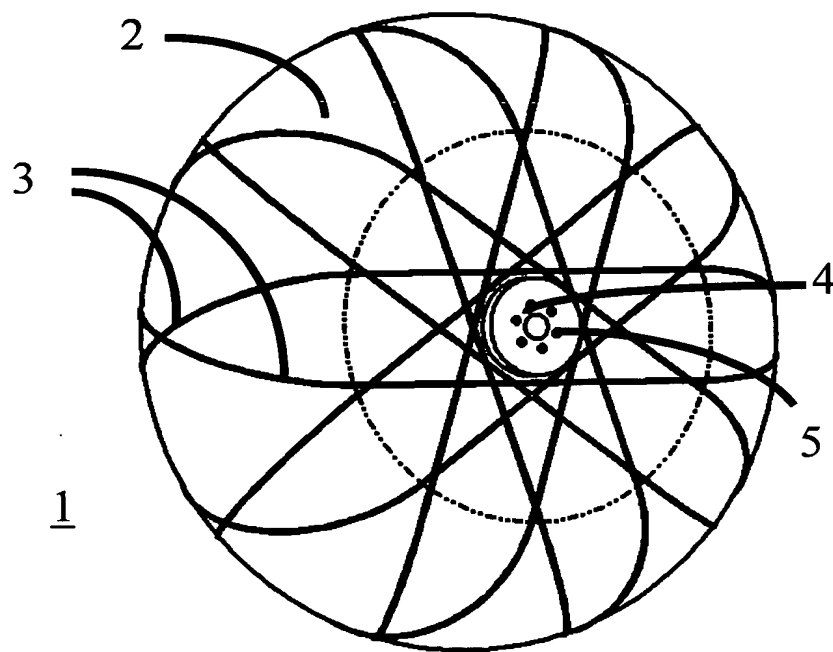
10. Fibre-reinforced pressure vessel according to any of claims 1-8, whereby the pressure vessel (1, 6) can withstand a working pressure in the range of 0-10 bar.
- 5 11. Fibre-reinforced pressure vessel according to any of claims 1-8, whereby the pressure vessel (1, 6) can withstand a working pressure in the range of 0-35 bar.
12. Fibre-reinforced pressure vessel according to any of claims 1-8, whereby the pressure vessel (1, 6) can withstand a working pressure in the range of 0-100 bar.
- 10 13. Fibre-reinforced pressure vessel according to any of claims 1-8, whereby the pressure vessel (1, 6) can withstand a working pressure in the range of 0-300 bar.
14. Fibre-reinforced pressure vessel according to any of claims 1-8, whereby the pressure vessel (1, 6) can withstand a working pressure in the range of 0-600 bar.
- 15 15. Fibre-reinforced pressure vessel according to any of claims 1-9, suitable for use as a gas flask for propane or butane or a mixture thereof for household use.
16. Fibre-reinforced pressure vessel according to claim 12 or claim 13, suitable as a fuel tank, in particular for LPG, for use in motor vehicles.
- 20 17. Fibre-reinforced pressure vessel according to claim 13 or claim 14, suitable as a fuel tank for CNG or compressed air.
- 25 18. Fibre-reinforced pressure vessel according to claim 14 suitable for use as a cryogenic gas system in space technology applications.
19. Fibre-reinforced pressure vessel according to any preceding claim, whereby the pressure vessel (1, 6) is provided with an appendage, for example a closure member or a pressure valve.
- 30 20. Method of manufacturing a fibre-reinforced pressure vessel comprising a rigid gas- or fluid-tight body overwound with fibre filaments, whereby the method comprises the steps of:

- a) providing a rigid gas- or fluid-tight body, fibre filaments and a winding apparatus;
- b) overwinding the rigid body such that at least a number of fibre filaments can move freely in respect of one another and the fibre filaments are wound such that when the pressure vessel is under internal pressure vessel the fibre filaments are strained exactly in their longitudinal direction;

whereby no matrix material (for example, resin) is provided such that the fibre filaments would be incorporated in a matrix for that section of the pressure vessel in which the fibre filaments can move freely in respect of one another.

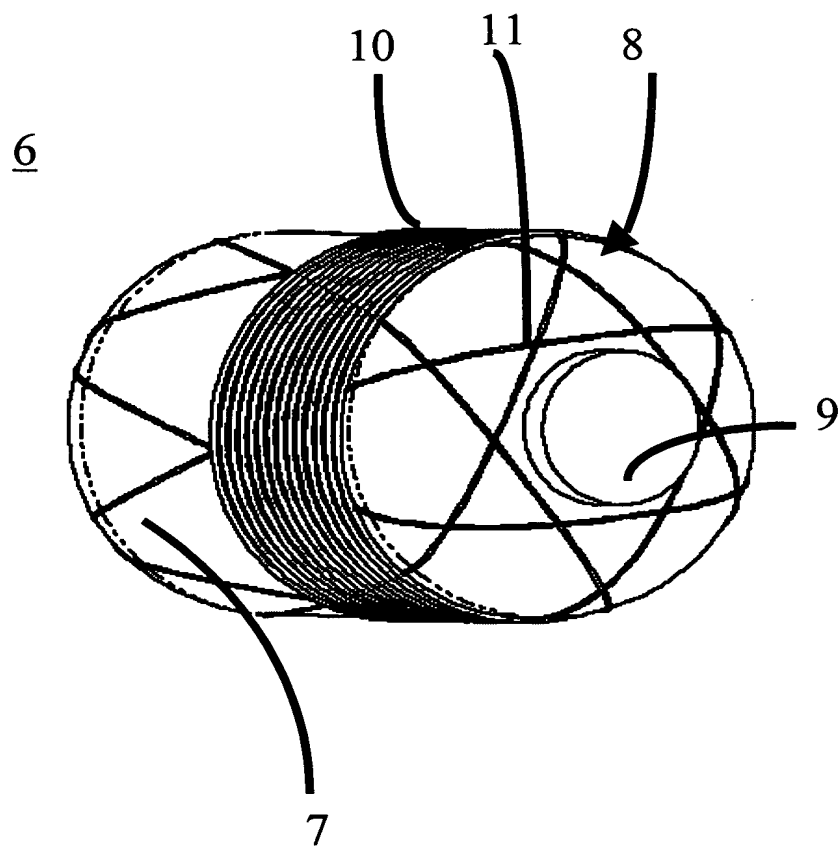
21. Method of manufacturing according to claim 20, whereby no matrix material at all is provided.

22. Mould for use in manufacturing a fibre-reinforced pressure vessel according to claim 20 or claim 21.

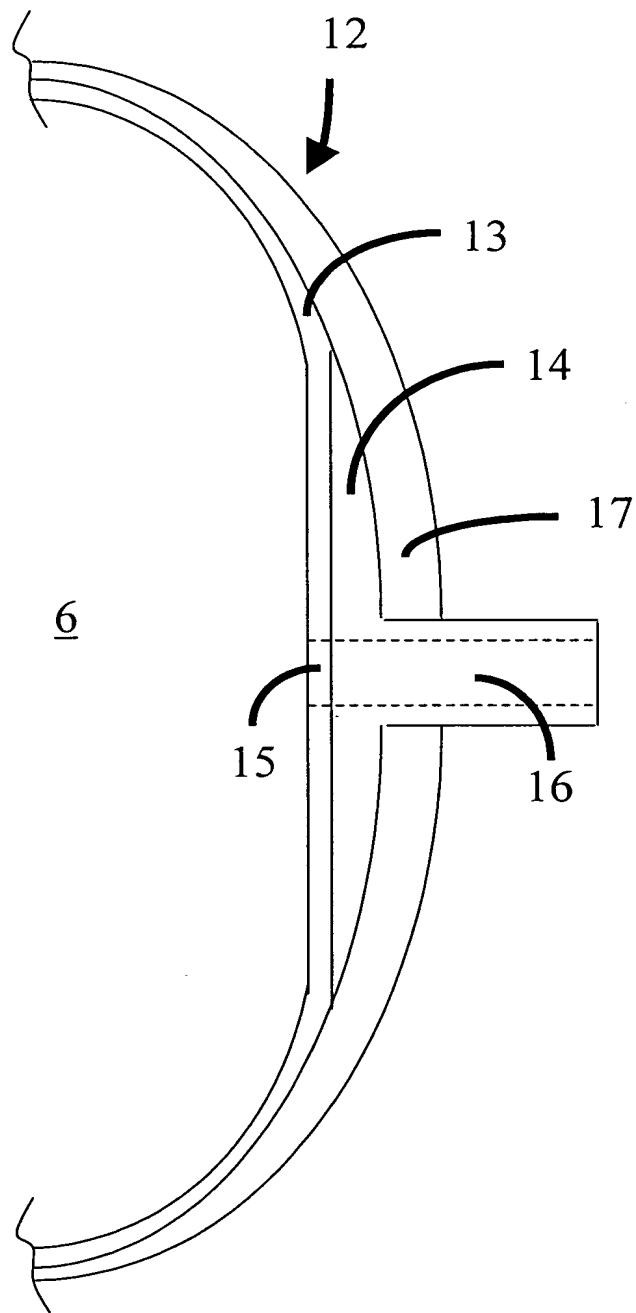


**Fig. 1**

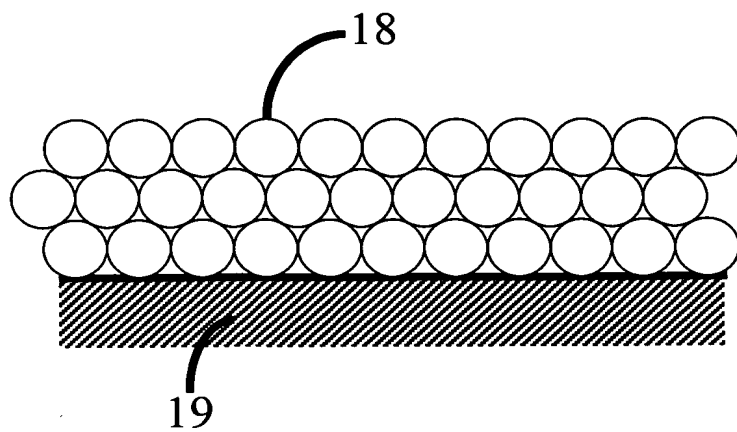




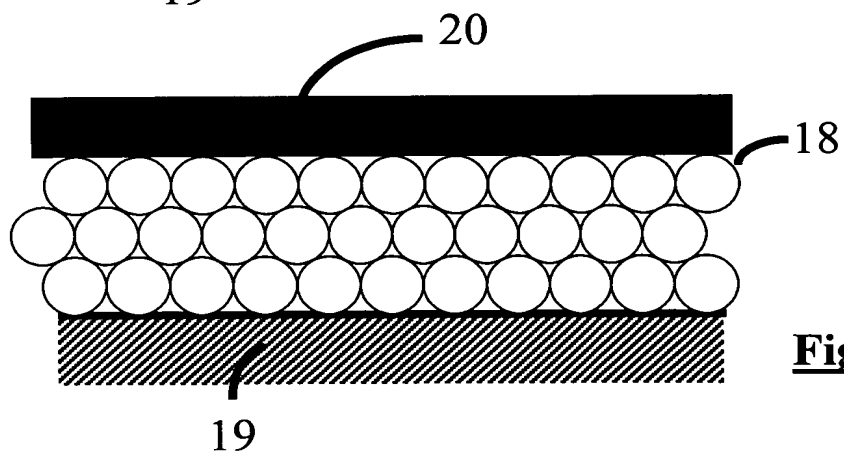
**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4A**



**Fig. 4B**